

УДК 621.396.677.7

## ВЗАИМНОЕ ВЛИЯНИЕ ЩЕЛЕВЫХ И ВИБРАТОРНЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК В ДВУХДИАПАЗОННОЙ КОМПЛЕКСИРОВАННОЙ АНТЕННЕ

**Н.К. Блинова, Н.Н. Горобец***Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, Харьков, 61077, пл. Свободы, 4**e-mail: Natalya.K.Blinova@univer.kharkov.ua,**e-mail: Nikolay.N.Gorobets@univer.kharkov.ua*

Поступила в редакцию 18 октября 2010г.

Экспериментально на стенде ближнего поля измерены амплитудные и фазовые распределения полей излучения волноводно-щелевой антенной решетки с частотным сканированием диаграммы направленности, в раскрытие которой размещена вибраторная антенная решетка, работающая на более низкой частоте. Путем компьютерного расчета по измеренным на плоскости данным исследовано влияние вибраторной решетки на излучение щелевой. Показано, что если обе решетки излучают поля с ортогональной поляризацией, то эффекты взаимного влияния комплексированных щелевых и вибраторных антенн малы. Если же излучение совмещаемых антенн сопряжено по поляризации, то искажения характеристик направленности имеют катастрофический характер

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** электромагнитные волны, антенны, волноводно-щелевая антенная решетка, вибраторная антенная решетка, поляризация

Експериментально на стенді ближнього поля виміряні амплітудні та фазові розподіли полів випромінювання хвильоводно-щілинної антенної решітки з частотним скануванням діаграми спрямованості, в розкритті якої розміщена вібраторна антенна решітка, що працює на більш низькій частоті. Шляхом комп'ютерного розрахунку по виміряним на площині даним досліджено вплив вібраторної решітки на випромінювання щілинної. Показано, що якщо обидві решітки випромінюють поля з ортогональною поляризацією, то ефекти взаємного впливу комплексованих щілинних та вібраторних антен малі. Якщо ж випромінювання антен, які суміщаються, мають однакову поляризацію, то спотворення характеристик спрямованості мають катастрофічний характер.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** електромагнітні хвилі, антени, хвильоводно-щілинна антенна решітка, вібраторна антенна решітка, поляризація

The plane amplitude and phase distributions of radiation fields of waveguide-slot frequency scanning antenna array with a dipole array in it aperture that operates at a lower frequency was experimentally measured on a measurement facility. The influence of a vibrator array on radiation from a slot array was carefully studied using computer calculations. Low mutual coupling effect of orthogonal polarized complex waveguide-slot and vibrator array was shown. Using of co-polarized arrays leads to high distortion of directional characteristics.

**KEY WORDS:** electromagnetic waves, antennas, waveguide-slot antenna array, dipole antenna array, polarization

Накопленные к настоящему времени результаты теоретических исследований и практический опыт убедительно свидетельствуют о перспективности многочастотных совмещенных антенных решеток как вариантов многоканальных антенн, позволяющих значительно расширить функциональные возможности существующих и вновь разрабатываемых радиоэлектронных систем для различных областей науки и техники. Особое место среди подобных антенных систем занимают фазированные антенные решетки (ФАР), совмещенные с решетками других диапазонов, например, волноводно-щелевые (ВЩАР) и вибраторные (ВАР), решетки из открытых концов волноводов и вибраторные, и др. [1]. В таких комплексированных антеннах ВЩАР или волноводная ФАР работает на самых высоких частотах, причем ее апертура используется как отражающий экран для ВАР (фазированной или нефазированной), работающей на более низких частотах. При этом низкочастотных ВАР может быть и несколько.

Препятствием к широкому использованию подобных комплексированных антенн является неизбежное ухудшение характеристик направленности и высокочастотных, и низкочастотных антенн, обусловленное их взаимным влиянием одна на другую. Эффекты взаимного влияния имеют место как в пассивных вариантах (рассеяние и дифракция излучения одной подрешетки на элементах другой), так и в активных, когда элементы совмещаемых антенн возбуждаются полями другой (других) антенн и переизлучают на частотах других рабочих каналов, а также проходят в приемные каналы соответствующих радиосистем. В результате нарушаются условия обеспечения электромагнитной совместимости одновременно работающих радиоэлектронных систем различного функционального назначения. Однако, во многих случаях, в частности, для летательных аппаратов и транспортных

средств, перенасыщенных радиоэлектронным оборудованием, приходится искать компромиссные научно-технические решения, позволяющие оптимальным образом решить ту или иную конкретную проблему в этой области.

Теоретические и экспериментальные исследования показывают, что в принципе можно исключить взаимное влияние различных радиосистем друг на друга через комплексированные антенны за счет использования антенн с ортогональной поляризацией как на одной, так и на разных частотах [1,2]. Примером реализации такой антенны может служить комплексированная двухчастотная решетка в виде плоской волноводно-щелевой излучающей структуры, работающей на высокой частоте (ВЧ ВЩАР), и расположенной над ней на расстоянии четверти длины волны низкочастотной вибраторной решетки (НЧ ВАР). Однако, на практике даже в этом случае эффекты рассеяния поля ВЧ ВЩАР на вибраторах НЧ ВАР имеют место из-за конечной толщины вибраторов. Второй и еще более важной причиной взаимного влияния излучателей в рассматриваемом случае является то обстоятельство, что вибраторы на практике укрепляются на металлических стойках, представляющих собой по-сути отрезки двухпроводной линии. Как хорошо известно, расстояние между проводниками в двухпроводной линии должно удовлетворять условию  $d < \lambda_{\min} / 10$ . Расстояние между стойками НЧ ВАР может превышать это значение для рабочего диапазона частот ВЧ ВЩАР. Кроме того, электрический вектор поля излучения щелей не ортогонален стойкам и самим вибраторам не только в ближней, но и в дальней зонах. В результате стойки вибраторов не только рассеивают электромагнитное излучение ВЧ ВЩАР, но и в соответствии с законом Ома  $\vec{j} = \sigma \vec{E}$  возбуждаются и излучают электромагнитные волны как двухпроводная линия с комплексной нагрузкой

$$\dot{Z}_H = \dot{Z}_{\text{ex.вибр.}} = R_{\text{ex.вибр.}}(f_{\text{вч}}) + iX_{\text{ex.вибр.}}(f_{\text{вч}}).$$

За счет этого явления возбуждаются и излучают на высокой частоте комплексированной антенны и вибраторы. Таким образом, в реальной антенне, в отличие от идеализированного варианта, то есть физико-математической модели, взаимное влияние между ВЩАР и ВАР имеет место.

Отметим, что электродинамический анализ излучения вибраторных фазированных антенных решеток с учетом влияния опорных стоек сам по себе представляет сложную задачу [3]. Задачи возбуждения прямого и Г-образного вибратора, расположенного вблизи волноводно-щелевого излучателя, как показано в результате решения этих тестовых для рассматриваемой проблемы задач в [4,5], также довольно сложны. Поэтому измерения и анализ влияния ВАР на характеристики излучения ВЩАР, особенно во всем пространстве наблюдения, что является целью настоящей статьи, актуальны и важны для практики.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МАКЕТА

Как отмечено выше, теоретический расчет параметров и характеристик комплексированных антенн разных частотных диапазонов с учетом всех эффектов, обусловленных особенностями конструкции и взаимным влиянием совмещаемых антенн, практически невозможен из-за сложности электродинамической задачи в строгой постановке. С другой стороны, прямые антенные измерения позволяют изучить физические закономерности проявлений взаимного влияния антенн, которые комплексированы в одном излучающем раскрытии. Действительно, все необходимые параметры и характеристики комплексированной антенны – диаграмма направленности, ширина главного и боковых лепестков, изменение направления главного максимума при сканировании, коэффициент усиления, согласование – могут быть непосредственно измерены в широкой полосе частот. Значительные трудности возникают в рассматриваемом случае из-за необходимости исследовать диаграммы направленности комплексированных антенн не только в главных  $\vec{E}$  – и  $\vec{H}$  – плоскостях наблюдения, но и во всем пространстве. Это весьма важное обстоятельство, так как электромагнитные поля ВЧ ВЩАР, рассеянные НЧ ВАР, могут формировать дифракционные и другие боковые лепестки в произвольных направлениях, не лежащих в главных плоскостях наблюдения. Измерения диаграмм направленности в этих сечениях затруднены из-за рассогласования испытываемой и индикаторной антенн по поляризации.

Отмеченные трудности легко преодолеваются путем измерения амплитудного и фазового распределения поля комплексированной антенны на плоскости в ее ближней зоне и дальнейшем расчете по измеренным данным параметров и характеристик направленности комплексированной антенны в ее дальней зоне [6].

Для решения поставленной задачи экспериментального исследования влияния НЧ ВАР, установленной в излучающем раскрыве ВЧ ВЩАР, на параметры и характеристики направленности последней использовалась плоская решетка из 36 волноводно-щелевых линеек. В узкой стенке каждого волновода прорезано 36 щелей, расстояние между которыми равно половине длины волны основного типа в волноводе. Расстояние между соседними волноводами равно 40 мм. Таким образом, электрические размеры ВЧ ВЩАР достаточно большие для того, чтобы влияние краевых эффектов на исследуемые явления, обусловленные влиянием НЧ ВАР на характеристики ВЧ ВЩАР, было пренебрежимо малым. Принципиальная схема ВЧ ВЩАР представлена на рис.1. При изменении частоты главный лепесток диаграммы направленности этой антенны сканирует. В [7] отмечено, что такие ВЩАР широко применяются в радиолокаторах кругового обзора с частотным сканированием.

В раскрыве описанных ВЩАР устанавливалась решетка 17х17 вибраторов (рис.2 и 3). Вибраторная решетка рассчитывалась на длину волны, примерно в 2,5 раза большую рабочей длины волны щелевой решетки. Периоды расположения излучателей вибраторной и щелевой решеток, как видно из рисунков, относятся в соотношении 2:1. Вибраторы устанавливались на высоте 0,56 средней длины волны рабочего диапазона щелевой решетки на равных расстояниях от окружающих их щелей.

Вибраторы изготовлены из медной трубки диаметром 5 мм в виде двух Г – образных плеч. Оба плеча вибратора устанавливались в щелевой решетке с помощью вкладышей из пенопласта (рис.2 и 3). Ориентацию вкладышей и, следовательно, вибраторов можно изменять на  $90^\circ$ . Таким образом, экспериментальный макет предусматривал возможности исследовать влияние вибраторной решетки на характеристики щелевой:

- во всем рабочем диапазоне частот щелевой решетки;
- во всем секторе углов сканирования диаграммы направленности (ДН) щелевой решетки;
- при ортогональных ( $\uparrow \rightarrow$ ) и согласованных ( $\uparrow \uparrow$ ) по поляризации излучения вибраторной и щелевой решеток.

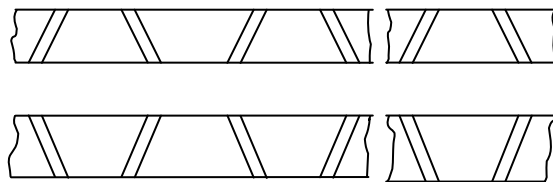


Рис.1. Схема фрагмента макета волноводно-щелевой антенной решетки

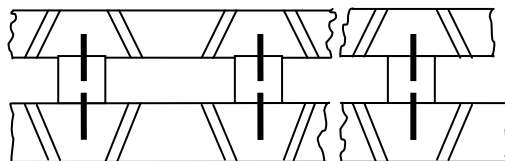


Рис.2. Схема фрагмента комплексированной волноводно-щелевой и вибраторной антенной решетки с излучателями, ортогональными по поляризации

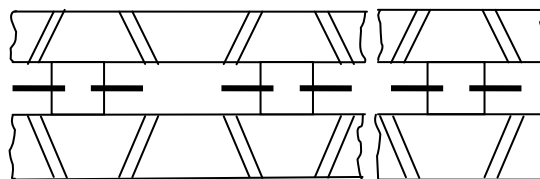


Рис.3. Схема фрагмента комплексированной волноводно-щелевой и вибраторной решетки с излучателями, согласованными по поляризации

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТОВ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ВИБРАТОРНОЙ И ЩЕЛЕВОЙ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК НА СТЕНДЕ БЛИЖНЕГО ПОЛЯ

Стенд ближнего поля позволял анализировать диаграммы направленности волноводно-щелевой антенной решетки по измерениям амплитудного и фазового распределения поля на плоскости в ее излучающем раскрыве. Результаты измерений обрабатывались с помощью компьютерных программ и выводились на печать в виде диаграмм направленности в главных плоскостях наблюдения (в вертикальной и горизонтальной), а также в произвольных сечениях  $\varphi = const$  и представлялись на плоскости с координатами  $\theta$  и  $\varphi$  точек наблюдения в дальней зоне линиями равных уровней мощности излучения. Параллельно на печать выводились следующие данные: направление главного максимума ДН в значениях углов по азимуту и углу места, уровни и координаты самых больших боковых лепестков при  $\theta > 0$  и при  $\theta < 0$  от направления главного лепестка ДН, значение амплитуды поля, пропорциональные коэффициенту усиления ВЩАР при каком-либо определенном положении главного максимума ДН.

Измерения, как было отмечено выше, проводились для двух случаев - развязанных по поляризации излучателей ВЩАР и ВАР и согласованных. На рис.4 а (кривая 1) представлена в качестве контрольной ДН волноводно-щелевой антенны в горизонтальной плоскости (*E-плоскости*) на частоте  $f_1$ . Видно, что в этой плоскости уровень боковых лепестков не превышает -26...-30 дБ, причем уровень фона существенно снижается (примерно по экспоненциальному закону) при увеличении угла  $\theta$ . Эта диаграмма направленности являлась контрольной и по отношению к ней рассматривались другие результаты измерений. На рис.4а приведены результаты измерений ДН комплексированной щелевой и вибраторной антенной решетки в случае, когда поле излучения щелевой и вибраторной антенны развязаны по поляризации (кривая 2). Видно, что по сравнению с ДН ВЩАР (кривая 1) несколько увеличился общий фон излучения в дальних боковых лепестках и незначительно увеличился уровень первых боковых лепестков.

Таким образом, результаты измерений подтверждают полученный из физических соображений вывод о том, что развязанная по поляризации ВАР не сильно влияет на параметры и характеристики излучения ВЩАР. На рис.4а приведены аналогичные результаты для случая, когда вибраторная решетка сопряжена по поляризации с полем щелевой антенны (кривая 3). Видно, что эффекты взаимного влияния значительно усиливаются. Обращает на себя внимание появление максимумов боковых лепестков, соответствующих дифракционным максимумам вибраторной решетки на частоте щелевой решетки, причем величина этих максимумов значительно превышает уровень боковых лепестков. Как следовало ожидать, эти максимумы появляются в тем большем секторе углов, чем больше величина отклонения главного максимума от направления нормали.

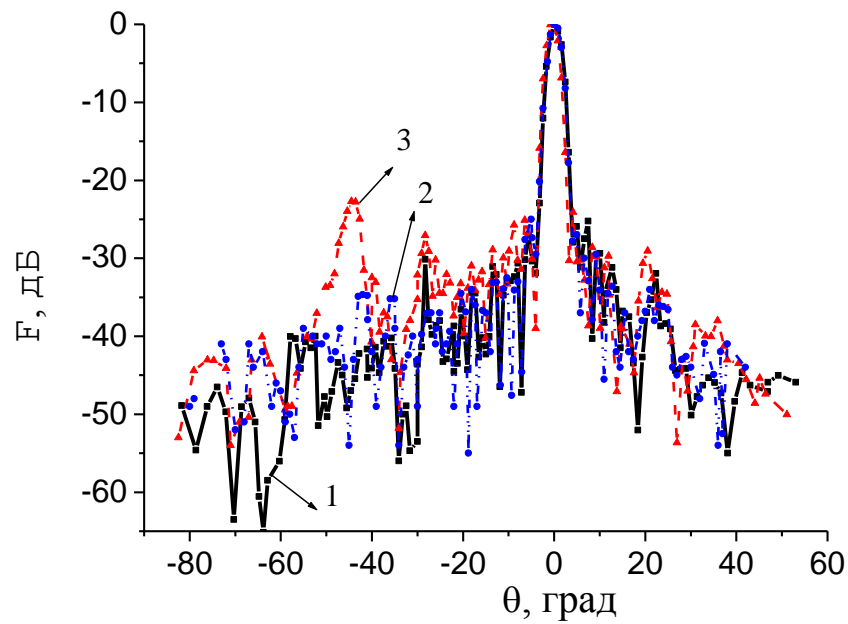
Результаты измерений ДН в ортогональной плоскости (*H-плоскости*) представлены на рис.4б. Из данных рис.4б видно, что, как и в предыдущем случае, если ВАР развязана по поляризации с полем щелевой решетки, то она слабо влияет на ее ДН. В случае, когда вибраторы согласованы по поляризации с полем щелевой решетки, эти эффекты усиливаются. В частности, уровни дальних боковых лепестков, соответствующих дифракционным лепесткам вибраторной решетки, по величине достигают значения -12 дБ.

Измерения проведены на пяти частотах в случае, когда главный максимум ДН щелевой антенны ориентирован близко к направлению нормали к решетке (отклонение по азимуту  $9,82^\circ$ , по углу места -  $1,37^\circ$  на частоте  $f_2$ ) и в случае, когда он отклонен на разные величины, в частности, на  $16,01^\circ$  - по азимуту и  $-27,34^\circ$  по углу места на частоте  $f_1$ , и  $6,87^\circ$  - по азимуту и  $16,05^\circ$  по углу места на частоте  $f_3$ . Результаты измерений ДН на частоте  $f_2$  представлены на рис.5 соответственно в  $\vec{E}$  - (а) и в  $\vec{H}$  - (б) плоскостях.

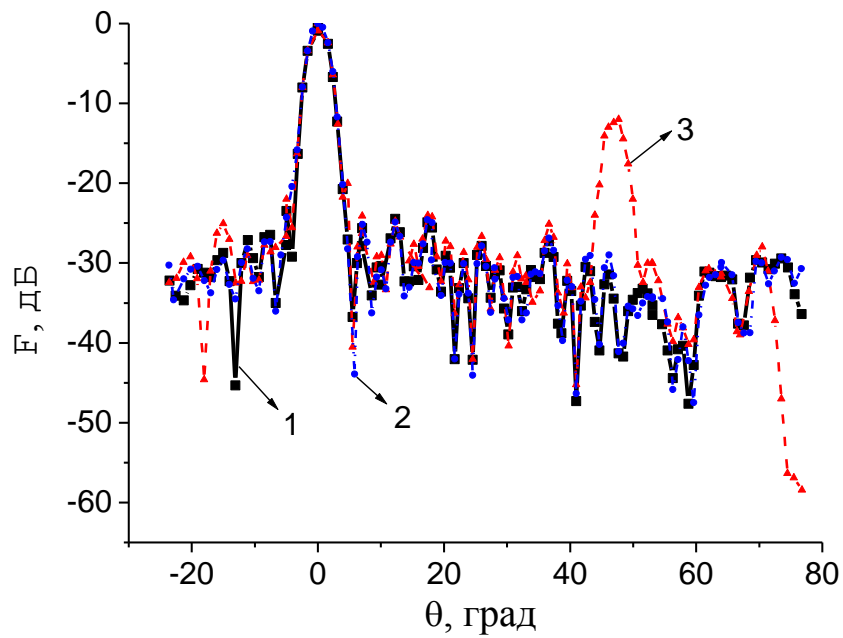
Диаграммы направленности на рис.4 и 5 построены относительно направления главного максимума, который для каждого случая принят равным нулю

Перейдем к детальному анализу результатов измерений. Прежде всего изучался вопрос: отклоняется ли главный максимум ДН волноводно-щелевой антенны при размещении в ее раскрыве вибраторной решетки. Результаты измерений, как видно из приведенных данных, показывают, что направление главного максимума щелевой решетки не отклоняется ни в одном из рассмотренных случаев. Этот факт может служить важным аргументом в пользу создания подобных антенных систем на практике.

В таблице 1 приведены результаты обработки расчетов ДН, в частности, ширина главного лепестка ДН по половине мощности в главном максимуме щелевой антенны на трех частотах для трех вариантов испытанных антенн. Из таблицы 1 видно, что в случае, когда вибраторная и щелевая решетки развязаны по поляризации, в обеих плоскостях наблюдения ширина главного лепестка ДН искажается в пределах



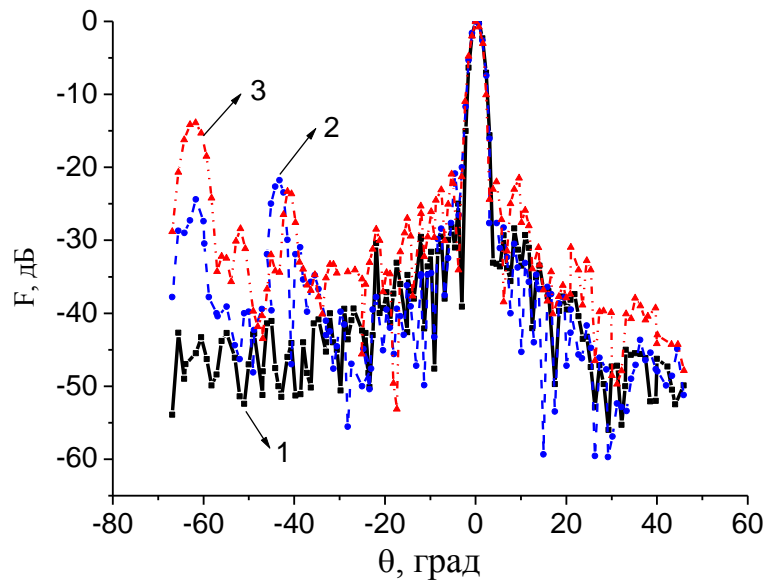
а)



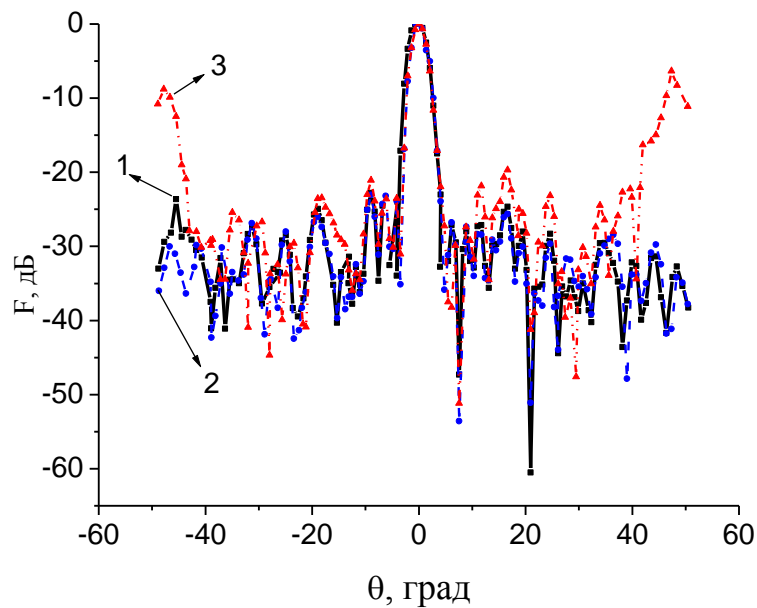
б)

Рис.4. Диаграммы направленности волноводно-щелевой антенны в комплексированной ВЧ ВЩАР и НЧ ВАР в плоскости  $\vec{E}$  (а) и в плоскости  $\vec{H}$  (б).

1 - ВЩАР; 2 -ВЩАР и ортогональная к ней ВАР; 3 -ВЩАР и сопряженная к ней ВАР



а)



б)

Рис.5. Диаграммы направленности волноводно-щелевой антенны в комплексированной ВЧ ВЦАР и НЧ ВАР в плоскости  $\vec{E}$  (а) и в плоскости  $\vec{H}$  (б).

1- ВЦАР; 2 -ВЦАР и ортогональная к ней ВАР; 3 -ВЦАР и сопряженная к ней ВАР

точности эксперимента. В случае же, когда вибраторы и щели сопряжены по поляризации, это отличие оказывается более существенным на всех частотах и достигает значений 2-5,6%. Таким образом, проведенные исследования показывают, что влиянием вибраторной решетки на волноводно-щелевую в отношении ширины и формы главного лепестка ее ДН можно пренебречь как в случае ортогональных, так и в случае сопряженных по поляризации вибраторных излучателей.

Таблица 1. Ширина главного лепестка ДН комплексированной вибраторно-щелевой антенны

Вариант антенны	Горизонтальная плоскость			Вертикальная плоскость		
	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_1$	$f_2$	$f_3$
ВЩАР	2,86	2,65	2,56	3,22	2,77	2,8
ВЩАР и ВАР $\uparrow\uparrow$	2,85	2,69	2,54	3,26	2,8	2,79
ВЩАР и ВАР $\uparrow\rightarrow$	2,79	2,52	2,53	3,22	2,75	2,81

В таблице 2 приведены результаты измерений величины, пропорциональной коэффициенту усиления щелевой антенны (в относительных единицах) на каждой из частот при разных случаях расположения вибраторной решетки в раскрые щелевой. Видно, что эта величина существенно зависит от способа размещения вибраторной антенной решетки. В частности, на частоте  $f_1$  уменьшение коэффициента усиления за счет вибраторной решетки достигает 5% в случае развязанных по поляризации полей вибраторов и 8,8% - сопряженных. На частоте  $f_2$ , на которой главный максимум ДН ориентирован в направлении, близком к направлению нормали к решетке, абсолютное значение коэффициента усиления возрастает. В этом случае влияние развязанной по поляризации излучения вибраторной решетки оказывается несколько меньше и не превышает 4,2%. Влияние же сопряженной по поляризации вибраторной антенны существенно больше и достигает 44%. На частоте  $f_3$  соответствующие значения еще меньше для ортогональных решеток и достигают 11% для сопряженных. Приведенные данные показывают, что уменьшение коэффициента усиления ВЧ ВЩАР при сканировании ДН за счет вибраторной решетки могут оказаться существенными, вплоть до ее частичного «ослепления».

В таблицах 3 и 4 приведены уровни первых боковых лепестков ДН испытанных антенных решеток.

Таблица 2. Коэффициент усиления комплексированной вибраторно-щелевой антенны

Вариант антенны	$f_1$		$f_2$		$f_3$	
	$G_m$	$\Delta G_m \%$	$G_m$	$\Delta G_m \%$	$G_m$	$\Delta G_m \%$
ВЩАР	3929	-	4823	-	4882	-
ВЩАР и ВАР $\uparrow\uparrow$	3878	1,3	4683	2,9	4929	0,9
ВЩАР и ВАР $\uparrow\rightarrow$	3583	8,8	2693	44,2	4345	11

Таблица 3. Уровни первых боковых лепестков (горизонтальная плоскость)

Вариант антенны	$f_1$		$f_2$		$f_3$	
	$\theta > 0$ дБ	$\theta < 0$ дБ	$\theta > 0$ дБ	$\theta < 0$ дБ	$\theta > 0$ дБ	$\theta < 0$ дБ
ВЩАР	-25,92	-27,02	-32,23	-31,0	-31,5	-26,27
ВЩАР и ВАР $\uparrow\uparrow$	-26,98	-25,01	-27,93	-27,85	-29,1	-25,3
ВЩАР и ВАР $\uparrow\rightarrow$	-24,07	-25,1	-22,83	-25,85	-27,39	-23,45

Таблица 4. Уровни первых боковых лепестков (вертикальная плоскость)

Вариант антенны	$f_1$		$f_2$		$f_3$	
	$\theta > 0$ дБ	$\theta < 0$ дБ	$\theta > 0$ дБ	$\theta < 0$ дБ	$\theta > 0$ дБ	$\theta < 0$ дБ
ВЩАР	-25,65	-23,58	-27,12	-32,55	-26,17	-21,31
ВЩАР и ВАР $\uparrow\uparrow$	-25,17	-28,41	-26,77	-23,9	-25,06	-21,19
ВЩАР и ВАР $\uparrow\rightarrow$	-24,18	-22,8	-28,22	-23,53	-25,27	-21,34

Таблица 5. Уровни максимальных боковых лепестков (горизонтальная плоскость)

Вариант антенны	$f_1$				$f_2$				$f_3$			
	$\theta^0 > 0$		$\theta^0 < 0$		$\theta^0 > 0$		$\theta^0 < 0$		$\theta^0 > 0$		$\theta^0 < 0$	
	град	дБ	град	дБ	град	дБ	град	дБ	град	дБ	град	дБ
ВЩАР	4,9	-25,9	-5,6	-27,0	6,17	-28,3	-3,79	-25,8	8,18	-29,6	-5,1	-26,2
ВЩАР и ВАР $\uparrow\uparrow$	4,1	-24,1	-44,5	-22,8	4,61	-22,8	-61,7	-13,9	47,7	-25,2	-62,1	-24,8
ВЩАР и ВАР $\uparrow \rightarrow$	4,9	-26,9	-5,6	-25,0	4,61	-27,9	-43,3	-21,8	5,9	-29,1	-3,6	-25,3

Таблица 6. Уровни максимальных боковых лепестков (вертикальная плоскость)

Вариант антенны	$f_1$				$f_2$				$f_3$			
	$\theta^0 > 0$		$\theta^0 < 0$		$\theta^0 > 0$		$\theta^0 < 0$		$\theta^0 > 0$		$\theta^0 < 0$	
	град	дБ	град	дБ	град	дБ	град	дБ	град	дБ	град	дБ
ВЩАР	7,1	-25,7	-4,97	-23,6	16,6	-24,7	-8,96	-22,8	18,62	-23,3	-4,13	-21,3
ВЩАР и ВАР $\uparrow\uparrow$	46,9	-12,4	-4,98	-22,8	48,4	-6,07	-47,7	-8,8	21,97	-23,9	-43,8	-15,0
ВЩАР и ВАР $\uparrow \rightarrow$	17,4	-24,6	-4,97	-24,3	16,6	-25,6	-6,19	-23,2	17,81	-24,3	-4,13	-21,2



Результаты, приведенные в таблицах 3 и 4, подтверждают выводы, сделанные выше. В частности, в случае двух решеток с ортогональной поляризацией уровни первых боковых лепестков возрастают не больше, чем на 1...2 дБ на частоте  $f_1$ , на 3...4 дБ на частоте  $f_2$  и на 1,5...2,5 дБ на частоте  $f_3$ . В случае вибраторных решеток, сопряженных по поляризации со щелевой, уровни боковых лепестков возрастают более существенно: так на частоте  $f_2$  уровень бокового лепестка увеличился на 10 дБ. В вертикальной плоскости на частоте  $f_1$  увеличение уровня бокового лепестка не превышает 1 дБ, на частоте  $f_2$  отличие уровней лепестков составляет -1...-8 дБ, на частоте  $f_3$  отличие заметно меньше. Для щелевой и вибраторной решеток, сопряженных по поляризации, отличие уровней боковых лепестков увеличивается и достигает 9 дБ на частоте  $f_3$ .

Таким образом, полученные результаты показывают, что первые боковые лепестки изменяются соответственно с физикой явлений в подобных комплексированных антенных решетках.

Результаты обработки ДН и анализ уровней дальних боковых лепестков *во всем пространстве наблюдения* представлены в таблицах 5 и 6 соответственно для горизонтальной и вертикальной плоскости.

Из этих таблиц видно, что в обеих плоскостях уровень боковых лепестков развязанных по поляризации решеток отличается друг от друга незначительно – в пределах 1...5 дБ. В случае сопряженных по поляризации решеток это отличие увеличивается более, чем на 12 дБ, в частности, на частоте  $f_2$ , соответствующие уровни лепестков достигает -13,9 дБ.

В вертикальной плоскости отличие уровней боковых лепестков увеличивается еще более существенно: на частоте  $f_1$  соответствующие лепестки составляют -12,4 и -15,7 дБ, на частоте  $f_2$  -6,1 и -10,7 дБ и на частоте  $f_3$  -15,7 дБ. Очевидно, что такое возрастание уровней боковых лепестков для практики не приемлемо.

Следует, однако, иметь в виду, что эти боковые лепестки сосредоточены в ограниченной области пространства, и их влияние на работу радиотехнической системы может быть скомпенсировано обработкой сигналов.

### ВЫВОДЫ

1. Проведены экспериментальные исследования влияния вибраторной антенной решетки, расположенной в раскрыве волноводно-щелевой антенны с частотным сканированием, на направленные характеристики последней. Эксперименты проведены на стенде ближнего поля на плоскости в случаях, когда излучение вибраторов ортогональны и сопряжены по поляризации излучения ВЩАР.
2. Показано, что в случае вибраторных решеток, развязанных по поляризации со щелевой решеткой, влияние их на характеристики излучения высокочастотной щелевой решетки довольно мало. В частности, направления главных максимумов не изменяются, ширина главного лепестка ДН искажается не более, чем на 5...7%, коэффициент усиления уменьшается не более, чем на 2,9%, боковые лепестки возрастают не более чем на -6 дБ в самом худшем случае.
3. Вибраторные решетки, сопряженные по поляризации с полем волноводно-щелевой антенны, искажают характеристики щелевой антенны очень сильно. В частности, появляются большие по уровню боковые лепестки, достигающие -3...-15 дБ и соответствующие дифракционным лепесткам вибраторной решетки на частоте высокочастотной щелевой антенны.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проблемы антенной техники. / Под ред. Л.Д. Бахраха, Д.И. Воскресенского.-М.: "Радио и связь" 1989.-368 с.
2. Пономарев Л.И., Степаненко В.И. Сканирующие многочастотные совмещенные антенные решетки. – М.: "Радиотехника", 2009. – 328 с.
3. Богомягков А.И., Бодров В.В., Марков Г.Т., Старостенко Б.А. Расчет характеристик излучения вибраторных фазированных решеток с учетом влияния опорных стоек. Сборник научно-методических статей по прикладной электродинамике. –М.: "Высшая школа", 1980. вып.4., С.164 – 207
4. Яцук Л.П., Пенкин Ю.М. Влияние рассеивающего вибратора на энергетические параметры щели в волноводе //Известия ВУЗов –Радиоэлектроника. – 1987/ –Т.30, №1. – С.42 – 46.
5. Яцук Л.П., Пенкин Ю.М. Рассеяние волны  $H_{10}$  узкой щелью в прямоугольном волноводе в присутствии Г-образного пассивного вибратора. Радиотехника. Межвед. научно-техн. сб. Харьков. 1988, вып. 84, с. 35-42
6. Методы измерений параметров излучающих систем в ближней зоне. /Л.Д. Бахрах, С.Д. Кременецкий, А.П. Курочкин, В.А. Усин, Я.С. Шифрин. Ленинград: "Наука", 1985. – 272 с.
7. Кюн Р. Микроволновые антенны. Ленинград: "Судостроение", 1967. – 517 с.